Iranian Food Science and Technology
Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Research Article
Vol. 21, No. 2, May.-Jun., 2025, p. 133-146

The Effect of Wet and Dry Heating Process and Wheat Flour Particle Sizes on Dough Rheology and Staling of Bread

M. Fazli Rad[1], J. Mohammadzadeh Milani[1*], S. Haghighat-Kharazi[1]

1- Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
(*- Corresponding Author Email: j.milani@sanru.ac.ir)

Received: 06.01.2024 Revised: 21.04.2024 Accepted: 21.04.2024 Available Online: 23.04.2025	**How to cite this article:** Fazli Rad, M., Mohammadzadeh Milani, J., & Haghighat-Kharazi, S. (2025). The effect of wet and dry heating process and wheat flour particle sizes on dough rheology and staling of bread. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(2), 133-146. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86258.1308

Introduction

Wheat plays a major role in global nutrition but it cannot be used without processing. The nutritional importance of wheat flour is due to the presence of gluten proteins that create viscoelastic properties. Gluten as a protein inhibits the staleness of bread. Physical modification of flour is a safe method without using any kind of chemicals. Physical modification of flour includes heat treatment and particle size classification. Particle size distribution is the most widely used technique for classifying solid particles, which is effective in improving rheological properties by affecting the physicochemical properties of flour during hydration, such as water absorption, solvent retention, sedimentation, and adhesion properties. Heat treatments, depending on the intensity of temperature and process time, by modifying starch granules, denaturing proteins, and deactivating enzymes, reducing microbial load, and even modifying flavor and aroma are suggested as a suitable way to improve the quality of bread, especially for weak flour. Considering that the interaction of particle size with wet and dry heating of wheat flour on the rheological properties of dough and staleness of bread has not been studied so far. In this research, by dividing wheat flour with different particle sizes and using wet and dry heat treatments for modification the functional characteristics of wheat flour and the improvement of the rheological characteristics of dough and staleness of bread were investigated.

Materials and Methods

The content of moisture, pH, ash, protein, and Zeleny number of wheat flour was measured using the AACC standard method (2000), and wet and dry gluten with the standard number (9639-1, 3) was measured. To classify the size of the particles, wheat flour was divided by a shaker sieve with different sizes of 180, 150, and 125 microns, then under the influence of dry heat treatment for 10 minutes at 100 degrees Celsius and moist heat treatment with 16% humidity for 5 minutes at a temperature of 96 degrees Celsius was placed. Materials for bread formulation for 100 g of wheat flour included 58 ml of water, 2.5 g of sugar, 1 g of salt, 1 g of vegetable oil, and 2 g of yeast. The rheological parameters of the dough were measured by an alveography device. To check the staleness of bread during the storage period, moisture tests of core and shell, blue activity of core to shell, analysis of bread texture, and DSC were performed. Finally, the factorial test was used to investigate the effects of particle size and heat treatment on wheat flour, and Duncan's multiple range test was used to compare the means at the 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that the effect of particle size and dry heat treatment on dough rheology and water activity of bread core and crust was significant, while moist heat treatment had significantly more bread core moisture ($p<0.05$). According to the results, dry heat treatment did not affect the texture of bread ($p>0.05$), while the use of flour obtained from moist heat treatment with a particle size of 180 microns led to the improvement of bread texture by reducing the

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86258.1308

hardness and chewability ($p<0.05$). The results of thermal analysis showed that the moist heat treatment sample with a particle size of 180 microns had the lowest enthalpy and was the best sample ($p<0.05$).

Conclusion

In general, the use of flour with a particle size of 180 microns and moist heat treatment to improve the rheological and staling properties of bread were the best examples.

Keywords: Bread quality, Particle size, Physical modification, Wheat flour

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۴، ص. ۱۴۶-۱۳۳

تأثیر فرآیند حرارت‌دهی مرطوب و خشک و اندازه ذرات آرد گندم بر رئولوژی خمیر و بیاتی نان حجیم

محمد فضلی راد[۱]- جعفر محمدزاده میلانی[۱*]- سپیده حقیقت خرازی[۱]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۲

چکیده

هدف از این پژوهش برر سی خواص رئولوژیکی خمیر و بیاتی نان حا صل از آرد گندم در اندازه ذرات مختلف و تحت تأثیر تیمارهای حرارتی متفاوت بود. برای این منظور آرد گندم در اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰ و ۱۲۵ میکرون) تهیه و تحت تیمار حرارتی خشـــک به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه ســانتی‌گراد و تیمار حرارتی مرطوب (رطوبت، ۱۶ درصــد) به‌مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۶ درجه ســانتی‌گراد قرار گرفت و با نمونه‌های شــاهد (بدون حرارت‌دهی) مقایسه شدند. نتایج نشان داد تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک بر رئولوژی خمیر و فعالیت آبی مغز و پوسته نان معنی‌دار بود، در حالی که بهترین تعادل ویسکوالاستیک (P/L) خمیر را و کمترین میزان فعاالیت آبی مغز و بیشترین میزان فعالیت آبی پوسته نان را نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون در مقایسه با سایر نمونه‌ها دا شتند. تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون در مقایسه با سایر نمونه‌ها از رطوبت مغز نان بیشـتری برخوردار بود. طبق نتایج بدسـت آمده تیمار حرارت خشـک تأثیری بر بافت نان‌ها نداشـت، در حالی‌که بکارگیری آرد حاصـل از تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون با کاهش میزان سفتی و قابلیت جویدن منجر به بهبود ویژگی بافت نان گردید. نتایج حاصل از آنالیز حرارتی نشان داد نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون کمترین میزان آنتالپی را دا شته و بهترین نمونه بود. به‌طور کلی ا ستفاده از آرد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب با بهبود خواص رئولوژیکی و بیاتی نان بهترین نمونه بودند.

واژه‌های کلیدی: آرد گندم، اصلاح فیزیکی، اندازه ذرات، کیفیت نان

مقدمه

گندم نقش عمده‌ای در تغذیه جهانی دارد. اما بدون فرآوری قابل استفاده نیست. اهمیت غذایی آرد گندم به‌دلیل خاصیت ویسکوالاستیک (وجود پروتئین‌های گلوتن) منحصر به فرد آن است (Sudha *et al.*, 2016). یکی از اجزای بسیار کاربردی آرد، مجموعه پروتئین‌هایی است (گلیادین و گلوتنین) که پس از مخلوط شدن با آب، گلوتن را تشکیل می‌دهند. شبکه گلوتن تعیین‌کننده اصلی ویژگی‌های مهم خمیر (گسترش‌پذیری و مقاومت به کشش و تحمل به اختلاط و قابلیت نگهداشت گاز) است که گرانول‌های نشاسته و قطعات فیبری را محصور می‌کند. گلوتن مهمترین عامل در یکنواختی حجم و بافت، بازدهی و جذب آب و طعم و مزه در فرآورده‌های آرد گندم است. گلوتن به‌عنوان پروتئین مهارکننده بیات شدن نان منجر به کاهش سرعت انتقال رطوبت از مغز نان به پوسته می‌شود (Payan, 2013). گندم‌های ضعیف مقدار پروتئین کمتری دارند و دارای کیفیت پایین (ضعیف بودن گلوتن) می‌باشند و آرد و خمیر و نان حاصل از آنها کیفیت مناسبی ندارد. برای رفع این نقصان از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود (Shanmugavel *et al.*, 2019).

۱- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: j.milani@sanru.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.86258.1308

اصلاح فیزیکی آرد از جمله روش‌های مورد استفاده برای اصلاح ویژگی عملکردی آردها و در نتیجه بهبود کیفیت محصولات حاصل از آن‌ها می‌باشد. مزیت اصلی اصلاح فیزیکی نسبت به سایر روش‌ها این است که یک روش ایمن و بدون استفاده از هر گونه مواد شیمیایی و غیره است. اصلاح فیزیکی آرد شامل عملیات حرارتی و طبقه‌بندی اندازه ذرات می‌باشد. عملیات حرارتی به‌عنوان روشی مناسب برای بهبود کیفیت نان به‌ویژه در آرد ضعیف و نامرغوب پیشنهاد شده است (Rosa & Dias, 2011). توزیع اندازه ذرات پرکاربردترین تکنیک برای طبقه بندی ذرات جامد که با تأثیر بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آرد در هیدراتاسیون مانند جذب آب، احتباس حلال، ته‌نشینی، و خواص چسبندگی در بهبود خواص رئولوژیکی مؤثر باشد (Pang *et al.*, 2021). تیمارهای حرارتی، بسته به شدت دما و زمان فرآیند با اصلاح گرانول‌های نشاسته، دناتوراسیون پروتئین‌ها، غیرفعال کردن آنزیم‌ها، کاهش بار میکروبی و حتی اصلاح طعم و عطر روشی مناسب برای تغییر عملکرد آرد ضعیف پیشنهاد شده است (Chakraborty *et al.*, 2022).

به‌طور کلی مطالعات کمتری بر تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی بر خواص رئولوژیکی خمیر و بیاتی نان انجام گرفته است. به‌عنوان مثال، لین و همکاران (Lin *et al.*, 2020) اثر اندازه ذرات آرد گندم کامل را بر خواص خمیر و کیفیت نان و قابلیت هضم نشاسته بررسی کردند. اندازه ذرات شامل ذرات درشت و متوسط و ریز بود. خمیر ساخته شده با اندازه ذرات درشت انعطاف‌پذیری و پایداری کمتری از خود نشان داد و نان حاصله ساختار فشرده‌تر (تخلخل باز کمتر و ضخامت سلول بیشتر) و حجم ویژه کمتر و بافت سفت‌تری داشت که به‌عنوان ویژگی‌های با کیفیت پایین در نظر گرفته شد. مشخص شد اندازه ذرات نقش مهمی در تعیین کیفیت و قابلیت هضم نان دارد. محمدزاده و همکاران (Mohammadzadeh *et al.*, 2018) در پژوهشی اثر حرارت‌دهی خشک و مرطوب نشاسته سیب‌زمینی بر ویژگی‌های بافتی و بیاتی کیک اسفنجی را ارزیابی کردند، نتایج نشان داد که نشاسته سیب‌زمینی تحت فرآیند حرارت‌دهی به مقدار کم در ترکیب آرد گندم بر کاهش بیاتی کیک و بهبود بیشتر ویژگی کیک اسفنجی مؤثر بود. بسبس و همکاران (Besbes *et al.*, 2015) تأثیر تیمار هیدروترمال در حین پخت نان بر آمیلوز محلول و استحکام و تجزیه مجدد آمیلوپکتین و تحرک آب در هنگام بیات شدن نان را بررسی کردند. دو درجه حرارت ۲۲۰ و ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد مد نظر قرار گرفته شد که افزایش استحکام و میزان آمیلوپکتین تجزیه شده همراه با کاهش آب قابل انجماد در طی بیاتی مشاهده شد اگر چه میزان گرمایش پایین‌تر منجر به مقدار بیشتری از تجزیه مجدد آمیلوپکتین می‌شود اما منجر به استحکام کمتری می‌شود. به‌علاوه مقدار آمیلوز محلول و تحرک آب در طول بیات شدن نان کاهش یافته است و بیات شدن نان در درجه حرارت بالاتر سرعت بیشتری می‌گیرد. نیل و همکاران (Neill *et al.*, 2012) تیمار حرارتی خشک آرد گندم در تولید کیک را در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و مدت زمان ۳۰ دقیقه انجام دادند. بیان کردند که تیمار حرارتی همانند یک بهبود دهنده عمل کرده و سبب افزایش ارتفاع و دانسیته واقعی کیک شد. ویسکوزیته کیک افزایش یافته و سبب بهبود کیفیت محصول گردید. با توجه به اینکه تاکنون تأثیر اندازه ذرات با حرارت‌دهی مرطوب و خشک آرد گندم بر ویژگی رئولوژیکی خمیر و بیاتی نان مورد مطالعه قرار نگرفته است در این پژوهش با تقسیم‌بندی آرد گندم با اندازه ذرات مختلف (۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون) و استفاده از تیمار حرارتی (مرطوب و خشک) جهت اصلاح ویژگی‌های عملکردی آرد گندم و بهبود ویژگی‌های رئولوژیکی خمیر و بیاتی نان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده جهت تهیه نان شامل آرد گندم (کارخانه خانی در شهرستان ساری)، روغن مایع گیاهی آفتابگردان (از شرکت لادن، ایران)، مخمر نانوایی فوری (از شرکت رضوی، ایران) شکر، و نمک (از شرکت گل‌ها، ایران) بود. جهت تعیین اندازه ذرات مقدار ۱۰۰ گرم آرد گندم بر روی الک‌هایی با مش ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ که به‌ترتیب از بزرگ به کوچک روی شیکر الک قرار گرفته بود ریخته شد، بعد از ۱۰ دقیقه لرزش آرد حاصل به ۳ قسمت به‌ترتیب با اندازه ذرات ۱۸۰، ۱۵۰، ۱۲۵ میکرون تقسیم شد.

ترکیب شیمیایی آرد گندم

آنالیز تقریبی آرد شامل رطوبت، pH، خاکستر، عددزلنی، پروتئین آرد گندم با استفاده از روش استاندارد AACC (AACC, 2000) و گلوتن مرطوب و خشک (Natioual standards, standards no 9639-1,3) تعیین شد. میزان پروتئین ۱۱/۴ درصد، خاکستر ۰/۵۲ درصد، رطوبت ۱۴/۱ درصد، pH ۶/۲، گلوتن مرطوب ۲۸/۷ درصد، عدد زلنی ۲۳ سی‌سی بر مبنای وزن مرطوب و گلوتن خشک ۹/۴ درصد بر مبنای وزن خشک تعیین گردید.

عملیات حرارتی خشک و مرطوب آرد گندم

در این روش مقدار ۱۰۰ گرم آرد گندم الک شده در فلاسک حجمی شیشه‌ای (۵۰۰ میلی‌لیتر) ریخته شد و حرارت خشک به روش بوکسلا و همکاران (Bucsella *et al.*, 2016) به‌مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) گرم شدند. حرارت مرطوب نیز به روش بوکسلا و همکاران (Bucsella *et al.*, 2016) با رطوبت ۱۶ درصد که مقدار آب مورد نیاز برای تنظیم

میزان رطوبت نمونه‌ها از اختلاف بین رطوبت نمونه و محتوای رطوبت مورد نظر محاسبه و اضافه شد، سپس نمونه‌ها به‌مدت ۵ دقیقه در دمای ۹۶ درجه سانتی‌گراد در آون (Memmert، مدل UFLLO، آلمان) گرم شدند (Bucsella *et al*., 2016).

فرمولاسیون نان حجیم

نان های حجیم پخته شده در این پژوهش با استفاده از روش فارهن و همکاران (Farheen *et al*., 2012) با کمی تغییر تهیه شدند. مواد لازم جهت خمیر نان شامل ۱۰۰ گرم آرد گندم، ۱ گرم نمک، ۲ گرم مخمر، ۲/۵ گرم شکر، ۱ گرم روغن گیاهی و ۵۸ میلی‌لیتر آب بود. خمیر حاصل جهت عمل تخمیر به‌مدت ۶۰ دقیقه در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد در آون قرار داده شد. عمل پخت در فر (مدل deo-il، صنایع پخت مشهد،ایران) در دمای ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۰ دقیقه انجام شد. در نام‌گذاری تیمارها C= نان شاهد، DHT= نان نمونه تیمار حرارتی خشک،MHT = نان نمونه تیمار حرارتی مرطوب و اعداد نشان دهنده اندازه ذرات هستند (Farheen *et al*., 2012).

ارزیابی رئولوژی خمیر

ارزیابی رئولوژیکی خمیر با استفاده از دستگاه آلوئوگرافی (chopin، مدل alveolab، فرانسه) انجام شد. پارامترهای رئولوژیکی خمیر شامل مقاومت (p)، قابلیت کشش (L)، نسبت مقاومت به قابلیت کشش (P/L)، مقدار انرژی (W) و تورم خمیر (G) می باشد (national standards, standards no 11545).

ارزیابی بافت نان حجیم

ارزیابی بافت نان‌ها به روش TPA در روز اول و سوم پخت بوسیله دستگاه بافت‌سنج (Brookfield, USA) انجام شد. جهت انجام این آزمون نمونه با ابعاد 25×25×25 میلی‌متری از قسمت مرکزی نان برش داده شد، سپس پروب ۳۸/۱ میلی‌متری با سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه تا ۴۰ درصد ارتفاع اولیه نمونه مورد ارزیابی قرار گرفت. فاکتورهای مورد ارزیابی شامل سفتی، ارتجاعیت، بهم پیوستگی، فنریت و قابلیت جویدن توسط نرم‌افزار Texture Pro CTV 1.6 Build 26 محاسبه شد (Lazaridou *et al*., 2007).

رطوبت مغز و پوسته

اندازه‌گیری رطوبت پوسته و مغز نان‌ها با روش شیتو و همکاران (Shittu *et al*., 2008) در روز اول، سوم و پنجم پس از پخت انجام گرفت. طبق این روش نمونه یک گرمی درون ظروف آلومینیومی به مدت ۲ ساعت در آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت سپس میزان رطوبت با توجه به کاهش وزن نمونه محاسبه شد (Shittu *et al*., 2008).

فعالیت آبی مغز و پوسته

فعالیت آبی مغز و پوسته نان‌ها با استفاده از دستگاه واتر اکتیویتی متر در روز اول، سوم و پنجم پخت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اندازه گیری شد (AACC, 2000).

آنالیز حرارتی روبشی نان

آنالیز حرارتی نان‌ها توسط دستگاه مدل SANAF-S500 ساخت ایران در فاصل زمانی روز اول، سوم و پنجم پس از پخت انجام گرفت. طبق این آزمون ۱۵ میلی‌گرم از مغز نان جدا در پن دستگاه قرار گرفت. اسکن گرمایی با سرعت حرارت‌دهی ۱۰ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و با برنامه دمایی ۲۵–۱۵۰ درجه سانتی‌گراد انجام گرفت (Ji *et al*., 2007).

تجزیه و تحلیل آماری

جهت بررسی اثرات اندازه ذرات و تیمار حرارتی آرد گندم نتایج کلیه آزمایشات با آزمایش فاکتوریل دو عامله در قالب طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار آنالیز شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

رئولوژی خمیر

نتایج حاصل از آزمون رئولوژی خمیر برای تیمارهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، از نظر میزان مقاومت خمیر (P)، بیشترین میزان مقاومت خمیر مربوط به نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون بود. تیمارهای حرارتی خشک و مرطوب نسبت به شاهد مقاومت بالایی را نشان دادند. تیمار حرارتی خشک نسبت به تیمار حرارتی مرطوب مقاومت بالاتری داشت. از نظر قابلیت کشش خمیر (L)، بیشترین میزان قابلیت کشش خمیر مربوط به نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون بوده است. تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک از قابلیت کشش بالاتری برخوردار بود. تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به شاهد از قابلیت کشش کمتری برخوردار بودند. از نظر نسبت مقاومت خمیر به قابلیت کشش خمیر (P/L)، بیشترین میزان نسبت مقاومت خمیر به قابلیت کشش خمیر یا تعادل ویسکوالاستیک مربوط به نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون بوده است. تیمار حرارتی خشک

نسبت به تیمار حرارتی مرطوب و شاهد از P/L بالاتری برخوردار بود. از نظر مقدار انرژی (W)، کمترین مقدار انرژی مربوط به نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون بوده است. تیمار حرارتی خشک و تیمار حرارتی مرطوب نسبت به شاهد از مقدار انرژی بالاتری برخوردار بودند. تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار حرارتی خشک از مقدار انرژی بالاتری برخوردار بود. نمونه‌های تیمار حرارتی خشک با کاهش اندازه ذرات کاهش مقدار انرژی را نشان دادند. از نظر شاخص تورم (G)، بیشترین میزان تورم مربوط به نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون بوده است. نمونه‌های شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی خشک از تورم بالاتری برخوردار بودند. نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی خشک از تورم بالاتری برخوردار بودند. نمونه های شاهد نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب از تورم بالاتری برخوردار بودند. بطور کلی در این پژوهش اندازه ذرات مختلف و تیمارهای حرارتی منجر به تغییر در رفتار رئولوژیکی نمونهها شد و بهترین تعادل ویسکوالاستیک خمیر (P/L) را نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون به خود اختصاص داد، که علت آن این است که در اثر تیمار حرارتی خشک، پروتئین‌ها بهدلیل از هم باز شدن پیوندهای هیدروژنی و ساختار ثانویه، نامحلول می‌شوند. زمانی‌که ماکرومولکول پروتئین باز می‌شود، نواحی آبگریز که در حالت طبیعی در بخش‌های داخلی مولکول قرار دارند در نواحی بیرونی قرار می‌گیرند و ظرفیت جذب آب پروتئین را کم می‌کنند که منجر به کاهش محتوای رطوبتی آرد و سفت شدن خمیر حاصل و در نتیجه منجر به افزایش مقاومت خمیر می‌شوند. این نتایج با پژوهش پیغمبردوست و همکاران (Paighambardost *et al.*, 2014) مشابهت داشت که اثر فرآیند حرارت‌دهی خشک و مرطوب آرد گندم نرم بر ویژگی‌های خمیر و کیک را بررسی کردند. آنها گزارش کردند که بیشترین مقاومت خمیر مربوط به آردهای تیمار شده با حرارت خشک بود و با افزایش دما و زمان فرآیند حرارتی خشک، مقاومت خمیر کیک افزایش یافت که به‌دلیل کاهش محتوای رطوبتی آرد در اثر حرارت خشک و در نتیجه سفت شدن خمیر حاصل از آن می‌باشد. پورصفر و همکاران (Poursafar *et al.*, 2011) تأثیر دما و زمان فرآیند حرارتی خشک و مرطوب آرد گندم را بر ویژگی‌های کیک اسفنجی بررسی کردند. نتایج نشان داد در کیک هایی که آرد آن با حرارت خشک مورد فرآوری قرار گرفت با افزایش دما و زمان فرآیند حرارتی خشک رطوبت کیک کاهش اما مقاومت خمیر افزایش یافت.

جدول ۱- پارامترهای آلوئوگرافی خمیر در نمونه‌های مختلف

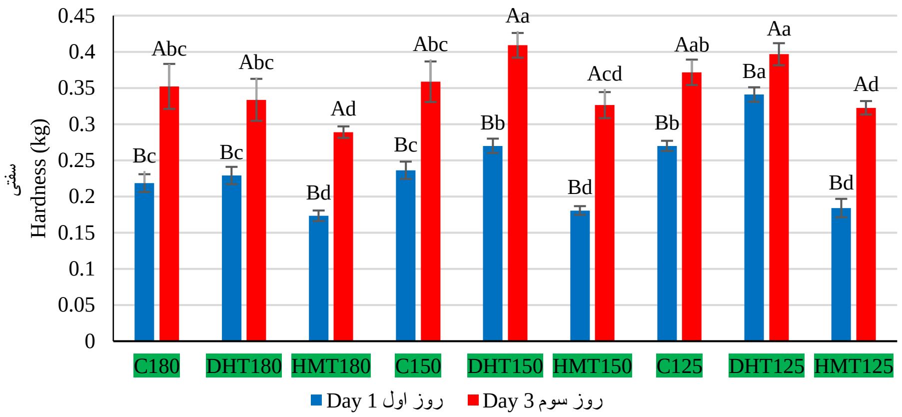
Table 1- Dough Alveograph parameters in different samples

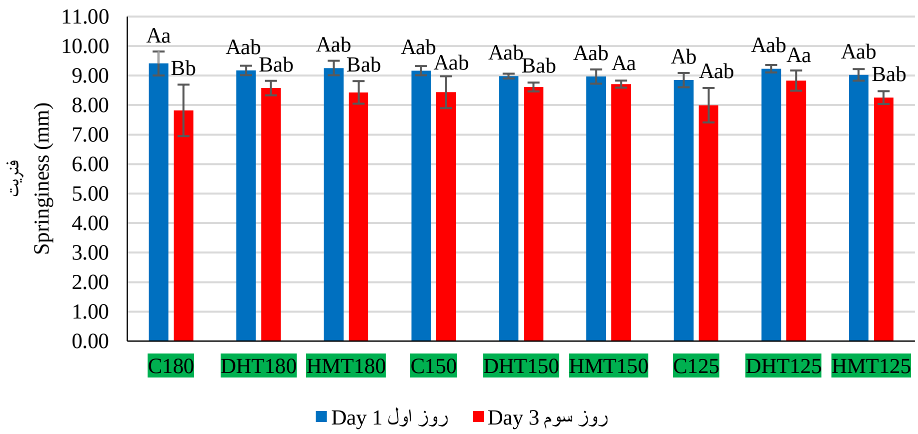
اندازه ذرات/ تیمار Treatment/Particle size	G (mm) تورم Swelling	W (j) مقدار انرژی Amount of energy	P/L (mm) مقاومت/قابلیت کشش Dough resistance/Stretchability	L (mm) قابلیت کشش Stretchability	P (mm) مقاومت خمیر Dough resistance
C 180	24.2	124	0.28	119	33
DHT180	17.2	202	1.45	60	87
HMT 180	20.1	222	0.93	82	76
C 150	21.8	186	0.63	96	60
DHT 150	19.4	199	0.95	76	72
HMT 150	22.5	209	0.59	103	61
C 125	24.1	147	0.34	118	40
DHT 125	17.5	177	1.19	62	74
HMT 125	20.5	227	0.89	85	76

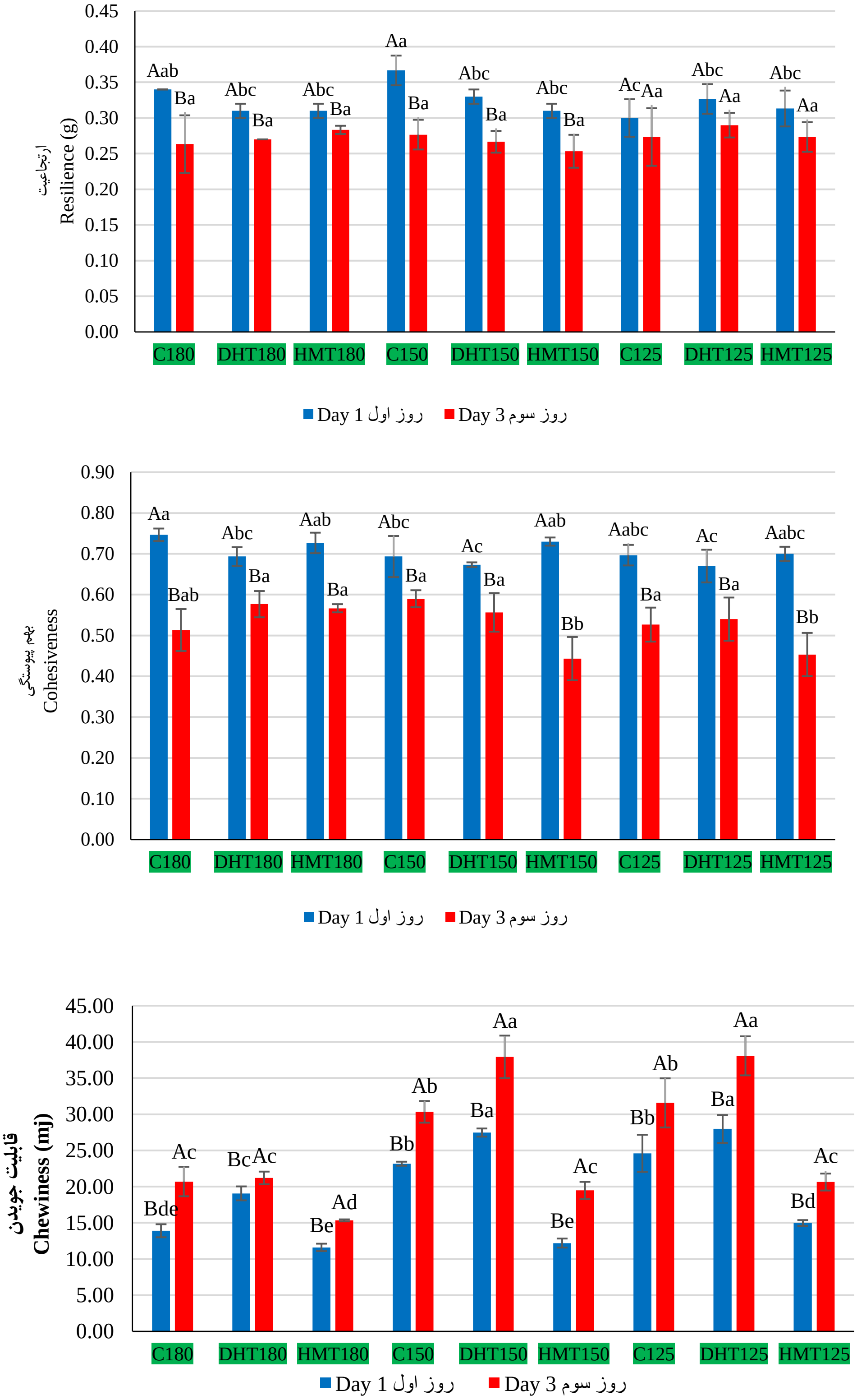
آنالیز پروفایل بافت

در شکل ۱ نتایج حاصل از آنالیز پروفایل بافت نمونه‌های مختلف در روز اول و سوم پس از پخت که شامل پارامترهای سفتی، فنریت، ارتجاعیت، بهم پیوستگی و قابلیت جویدن است آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در روز اول تأثیر تیمارها بر فنریت معنی دار نبود و تأثیر اندازه ذرات معنی‌دار بود، به‌طوری‌که نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به شاهد در اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون روند کاهشی داشتند و در اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون روند افزایشی داشتند. در روز سوم تأثیر تیمارهای حرارتی (خشک و مرطوب) و اندازه ذرات بر فنریت معنی‌دار نبود. در روز اول تأثیر تیمارها و اندازه ذرات بر ارتجاعیت معنی‌دار بود، به‌طوری‌که نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به شاهد در اندازه ذرات ۱۸۰ و ۱۲۵ میکرون روند کاهشی داشتند و در اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون روند افزایشی داشتند. در روز سوم تأثیر تیمارها و اندازه ذرات بر ارتجاعیت معنی‌دار نبود ($p>0.05$)، چون در روز سوم با گذشت زمان و ماندگاری نان‌ها رطوبت نان‌ها کمتر و کاهش یافت و در نتیجه ارتجاعیت کمتر و معنی‌دار نبود. در روز اول و سوم تأثیر تیمارها و اندازه ذرات بر بهم پیوستگی و سفتی و قابلیت جویدن معنی‌دار بود و تیمار حرارتی مرطوب نسبت به تیمار

حرارتی خشک و شاهد اختلاف معنی‌دار آماری داشت ($p<۰/۰۵$)، بطوری‌که نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارتی خشک کمترین پیوستگی، سفتی و قابلیت جویدن را داشت. تأثیر زمان نگهداری بر پیوستگی، سفتی و قابلیت جویدن نان برای تمام نمونه‌ها معنی‌دار بود و با افزایش زمان نگهداری، پیوستگی نمونه‌ها کاهش و سفتی و قابلیت جویدن نمونه‌ها بطور معنی‌داری افزایش یافت ($p<۰/۰۵$). بیلیادریس و همکاران (Biliaderis *et al.*, 1995) گزارش کردند سفت شدن مغز نان یکی از پارامترهای مهمی است که به‌طور کلی برای ارزیابی نرخ بیاتی استفاده می‌شود. به‌طوری که سفت شدن مغز نان در طی دوره نگهداری می‌تواند در نتیجه پدیده واپسگرایی و کاهش رطوبت باشد. در این پژوهش کمترین میزان سفتی و قابلیت جویدن در تیمار حرارتی مرطوب مشاهده شد، که این نتایج با پژوهش هاشمی و همکاران (Hashemi *et al.*, 2023) مشابهت داشت که اثر فرآیند حرارت خشک و مرطوب را در اندازه ذرات مختلف آرد برنج بر کیفیت نان بررسی کردند. آنها گزارش کردند نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارت خشک بطور معنی‌داری کمترین سفتی و قابلیت جویدن را دارا بودند، و احتمالا ویسکوزیته مناسب خمیر نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب با قابلیت بالا آمدن بهتر و نگهداری گاز حاصل از تخمیر ضمن افزایش حجم موجب نرم‌تر شدن نان حاصل شد. کاهش قابلیت جویدن نمونه تیمار حرارتی مرطوب (HMT 180) احتمالا می‌تواند به‌دلیل تأثیر این تیمار بر کاهش سفتی و رطوبت بیشتر نان‌های حاصل باشد. کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2017) گزارش کردند کیک حاصل از آرد برنج تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه شاهد بهم پیوستگی، قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نشان داد. مقادیر سفتی کمتر برای نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب می‌تواند به بازآرایی ساختاری نشاسته آرد در طول تیمار حرارتی مرطوب همراه باشد.







شکل ۱- نتایج آنالیز پروفایل بافت نمونه‌های نان

Fig. 1. Results of texture profile analysis of bread samples

حروف کوچک متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها در یک روز مشخص و حروف بزرگ متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها طی۳ روز در سطح احتمال ۵٪ است.

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 3 days at the 5% probability level.

زنجیره‌های نشاسته تخریب شده و سایر مولکول‌های کوچک ایجاد شده در طول فرآیند حرارتی مرطوب ممکن است ارتباط زنجیره نشاسته را مهار کرده و مانع رتروگراداسیون شود در نتیجه سفتی را کاهش دهند. بورکوا و همکاران (Bourekoua *et al*., 2016) در بررسی که بر تأثیر تیمار هیدروترمال ذرت و برنج در کیفیت نان انجام دادند گزارش کردند تیمار هیدروترمال منجر به بهبود کیفیت نان شد. خصوصیات بافتی نان حاصل از نمونه تیمار شده ذرت و برنج قابلیت جویدن و سفتی کمتری را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان داد.

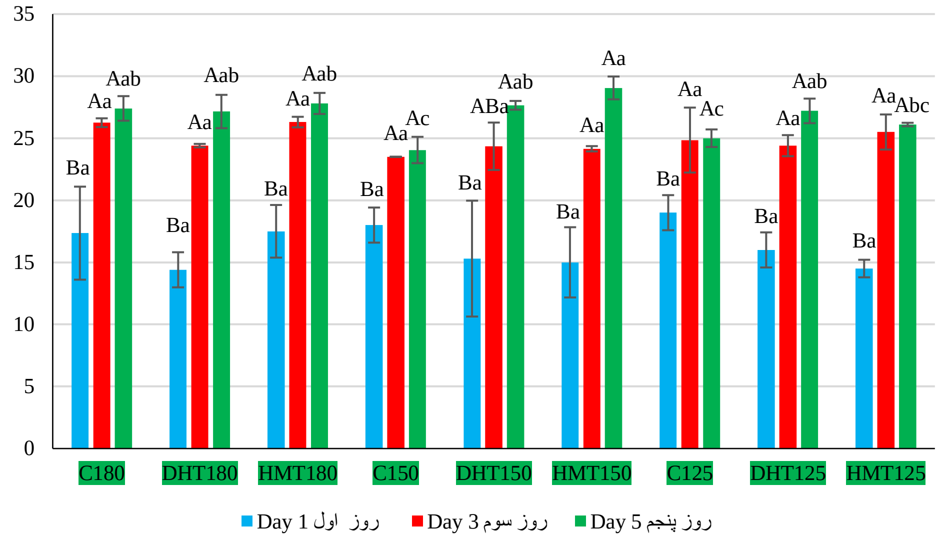
رطوبت پوسته و مغز نان

میزان رطوبت پوسته و مغز تیمارهای مختلف در مدت زمان نگهداری به‌ترتیب در شکل ۲ و ۳ ارائه شده است. در روز اول و سوم نگهداری اختلاف معنی‌داری بین رطوبت پوسته نمونه‌های تولیدی مشاهده نگردید ($p>0/05$). طی مدت زمان نگهداری نان‌ها رطوبت پوسته تمام نمونه‌های روز سوم و پنجم نسبت به روز اول به‌طور معنی داری افزایش داشتند، چون با گذشت زمان رطوبت از مغز نان به پوسته نان مهاجرت می‌کند، ولی رطوبت پوسته تمام نمونه‌های روز پنجم نسبت به روز سوم روند افزایشی را نشان دادند اما معنی‌دار نبودند. در روز پنجم نگهداری نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه های تیمار حرارتی خشک اختلاف معنی‌دار آماری نداشتند. نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و مرطوب نسبت به نمونه‌های شاهد به جزء در اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون اختلاف معنی‌دار افزایشی داشتند ($p<0/05$). در روز پنجم نگهداری تأثیر اندازه ذرات بر رطوبت پوسته معنی‌دار بود و کمترین میزان رطوبت پوسته را نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۵۰ میکرون دارا بود. بایک و چینچوتی (Baik & Chinachoti, 2000) تغییرات در نمونه‌های نان همراه با پوسته و بدون پوسته را بررسی کردند و دریافتند که مهاجرت رطوبت از مغز نان به پوسته نان (در صورت وجود پوسته) موجب سفتی بیشتر مغز نان و افزایش رتروگراداسیون آمیلوپکتین می‌شود. یافته‌ها دلالت بر این دارد که انتقال رطوبت از مغز نان به پوسته نان نقش مهمی در بیاتی و بد طعمی نان پوسته دار دارد.

انتقال رطوبت از مغز نان به سطح پوسته نان با گذشت زمان سبب می‌شود حالت تردی پوسته نان کاهش یابد و به حالت چرم مانند در آید (Mohammadzadeh *et al*., 2018). در روز سوم نگهداری نمونه های تیمار حرارتی خشک نسبت به نمونه‌های شاهد اختلاف معنی‌دار آماری بر رطوبت مغز نان‌ها نداشتند. نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه‌های شاهد اختلاف معنی‌دار آماری داشتند ($p<0/05$). تأثیر اندازه ذرات اختلاف معنی‌دار آماری را نشان داد. نمونه تیمار حرارتی خشک نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب به جزء در اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون اختلاف معنی‌دار آماری داشتند. در روز اول و پنجم نگهداری تأثیر تیمارها و اندازه ذرات بر رطوبت مغز نان‌ها معنی دار نبود ($p>0/05$). در روز پنجم نگهداری بیشترین میزان رطوبت مغز نان را نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون دارا بود. که علت آن می‌تواند به‌دلیل ظرفیت بالای حفظ رطوبت تیمار حرارتی مرطوب باشد. در طی مدت زمان نگهداری نان‌ها تمامی نمونه‌های روز سوم نسبت به روز اول روند کاهشی رطوبت مغز نان را نشان دادند ولی اختلاف معنی‌داری نداشتند. نمونه‌های روز پنجم نسبت به روز اول و سوم نیز روند کاهشی رطوبت مغز نان را نشان دادند، به‌طوری‌که نمونه های با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون نسبت به نمونه‌های با اندازه ذرات ۱۵۰ و ۱۲۵ میکرون اختلاف معنی‌دار آماری را نشان ندادند. به‌طور کلی تیمار حرارتی مرطوب به‌دلیل داشتن رطوبت بیشتر موجب بهبود روند و کاهش بیاتی نان گردید. این نتایج با پژوهش هاشمی و همکاران (Hashemi *et al*., 2023) مطابقت داشت که اثر فرآیند حرارت خشک و مرطوب را در اندازه ذرات مختلف آرد برنج بر کیفیت نان بررسی کردند. آنها گزارش کردند بیشترین رطوبت مغز نان مربوط به نمونه تیمار حرارتی مرطوب می‌باشد. علت آن می تواند به‌دلیل ظرفیت بالای حفظ رطوبت تیمار حرارتی مرطوب باشد، پس از عملیات حرارتی مرطوب ساختار کریستالی نشاسته ممکن است به‌دلیل شکستن پیوندهای هیدروژنی مختل شود و در نتیجه مولکول‌های آب با پیوند هیدروژنی به گروه‌های هیدروکسیل آمیلوپکتین اتصال برقرار می‌کند که این به نوبه خود موجب افزایش جذب آب و رطوبت محصول می گردد. پورهاگن و همکاران (Purhagen *et al*., 2011) نشاسته و آرد جو به شکل تیمار شده مرطوب و تیمار نشده را میزان ۳ درصد در فرمولاسیون نان گندم بکار گرفتند. آنها متوجه شدند آرد و نشاسته تیمار شده منجر به افزایش میزان رطوبت و نگهداری بیشتر رطوبت مغز نان در طول نگهداری می‌شود.

فعالیت آبی پوسته و مغز نان

نتایج فعالیت آبی پوسته و مغز تیمارهای مختلف طی مدت زمان نگهداری به‌ترتیب در شکل ۴ و ۵ ارائه شده است. در روز اول تأثیر تیمارها و اندازه ذرات بر فعالیت آبی پوسته معنی‌داری نبود ($p>0/05$). در روز سوم و پنجم نگهداری تأثیر تیمارهای حرارتی و اندازه ذرات بر فعالیت آبی پوسته معنی‌دار بود، به‌طوری‌که نمونه تیمار حرارتی خشک نسبت به نمونه تیمار حرارتی مرطوب و شاهد در اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون اختلاف معنی‌دار افزایشی داشت.

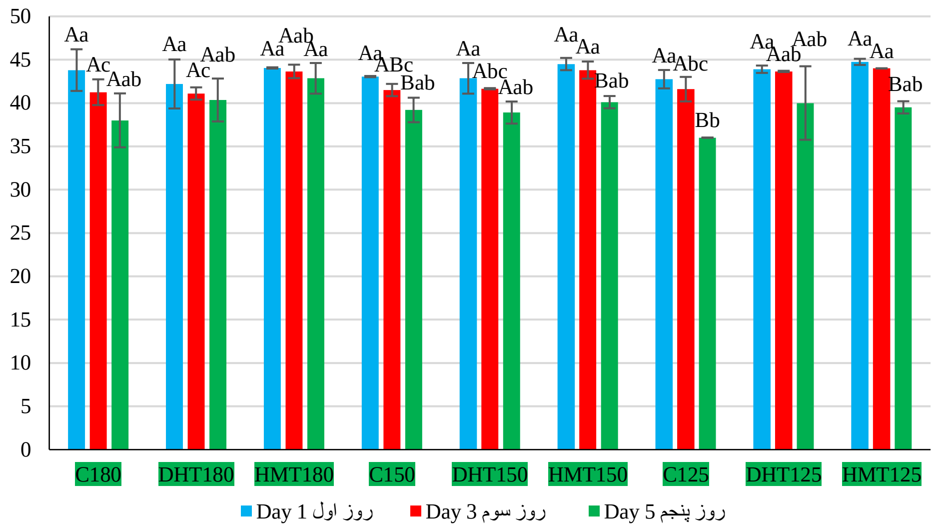


شکل ۲- میزان رطوبت پوسته نان‌های متفاوت در طی نگهداری

حروف کوچک متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها در یک روز مشخص و حروف بزرگ متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها طی ۵ روز در سطح احتمال ۵ ٪ است.

Fig. 2. Moisture content of different bread crusts during storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.



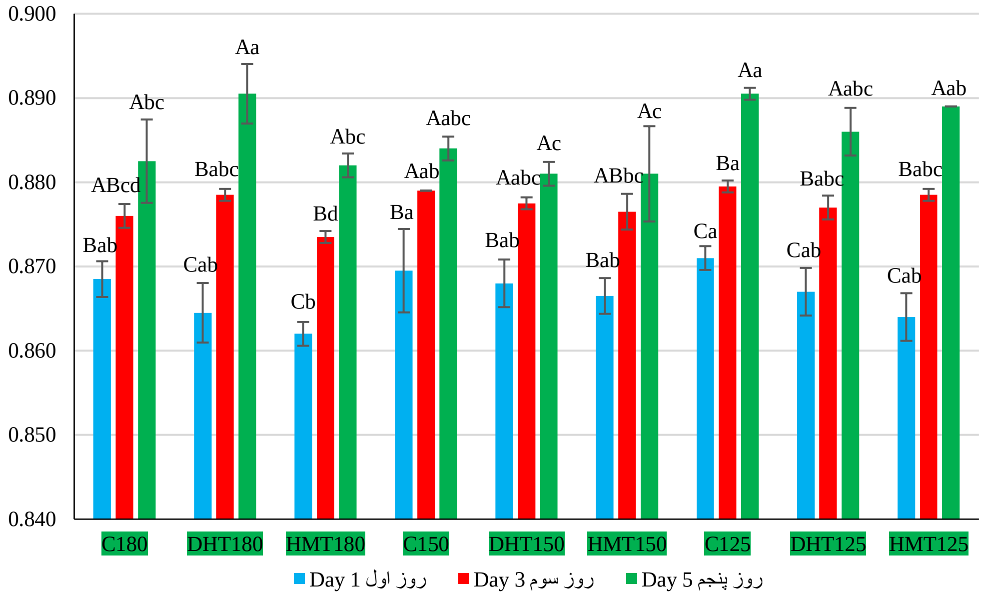
شکل ۳- میزان رطوبت مغز نان‌های متفاوت در طی نگهداری

حروف کوچک متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها در یک روز مشخص و حروف بزرگ متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها طی ۵ روز در سطح احتمال ۵٪ است.

Fig. 3. The moisture content of different bread crumbs during storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

در روز پنجم نگهداری نمونه شاهد با کاهش اندازه ذرات سبب افزایش فعالیت آبی پوسته شدند به‌طوری‌که نمونه شاهد با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون بیشترین میزان فعالیت آبی را داشت. که علت آن این است که ذرات ریزتر جذب سطحی آب بیشتری دارند و آب بیشتری را جذب می‌کنند و محتوای آبی افزایش می‌یابد. پورهاگن و همکاران (Purhagen *et al.*, 2011) عنوان کردند افزایش محتوای آبی پوسته نان‌ها به علت مهاجرت آب از مغز مرطوب به لایه‌های خشک پوسته است. در طی مدت زمان نگهداری نان‌ها فعالیت آبی پوسته تمام نمونه های روز پنجم و سوم نسبت به روز اول به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، چون رطوبت از مغز نان به پوسته نان مهاجرت کرده است. در روز اول و سوم و پنجم نگهداری تأثیر اندازه ذرات و تیمارها بر فعالیت آبی مغز معنی‌دار بود (p<۰/۰۵).

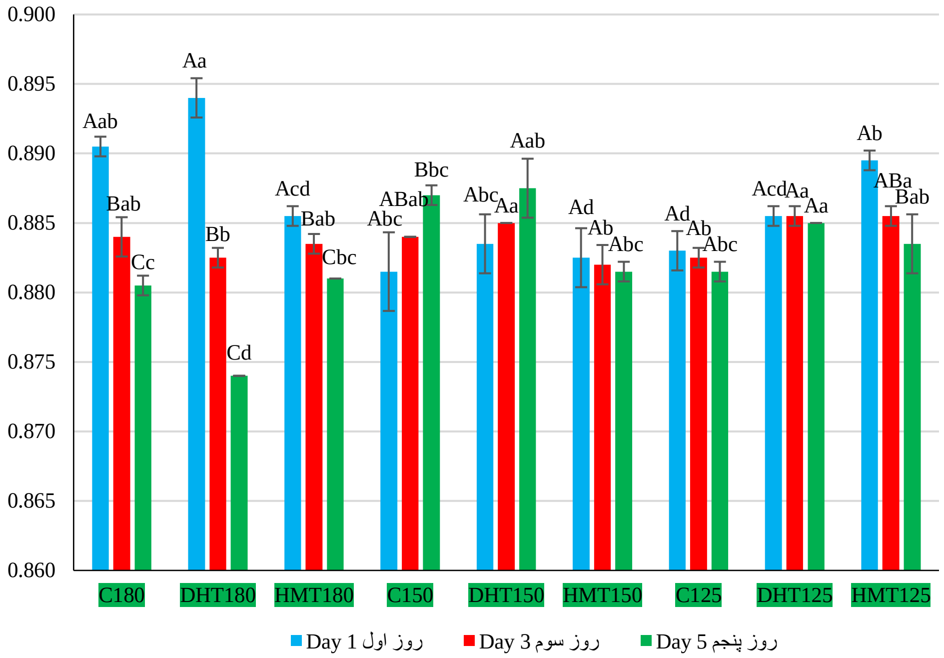


شکل ٤- فعالیت آبی پوسته نان‌های متفاوت در طی روزهای نگهداری

حروف کوچک متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها در یک روز مشخص و حروف بزرگ متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها طی ۵ روز در سطح احتمال ۵٪ است.

Fig. 4. Water activity of different bread crusts during storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.



شکل ٥- فعالیت آبی مغز نان‌های متفاوت در طی نگهداری

حروف کوچک متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها در یک روز مشخص و حروف بزرگ متفاوت مربوط به مقایسه نمونه‌ها طی ۵ روز در سطح احتمال ۵٪ است.

Fig. 5. Water activity of different bread crumbs of during storage

Different lowercase letters correspond to the comparison of samples on a specific day and different uppercase letters correspond to the comparison of samples over 5 days at the 5% probability level.

در روز پنجم نگهداری نمونه تیمار حرارتی خشک نسبت به شاهد به جزء در اندازه ذرات ۱۵۰ میکرون اختلاف معنی‌دار آماری دارد و بیشترین میزان فعالیت آبی مغز نان مربوط به نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۲۵ میکرون می‌باشد. نتایج نشان داد طی مدت زمان نگهداری نان‌ها فعالیت آبی مغز نمونه‌ها بطور معنی‌داری در اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون کاهش یافت. این نتایج با پژوهش رایوال و همکاران (Raioal *et al*., 2020) مشابهت داشت که گزارش کردند تیمار حرارتی خشک آرد گندم دوروم در دمای ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت زمان ۳۰ دقیقه به‌طور معنی‌داری سبب افزایش میزان فعالیت آبی مغز نان حاصل نسبت به نمونه شاهد شد.

آنالیز حرارتی روبشی تفاضلی

نتایج حاصل از آزمون کالریمتری روبشی تفاضلی برای تیمارهای مختلف طی روزهای اول، سوم و پنجم نگهداری در جدول ۲ آورده شده است. آنتالپی رتروگراداسیون همه نمونه‌های نان طی روزهای مختلف نگهداری روندی افزایشی داشت. بطور کلی در طول مدت زمان نگهداری همه نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و نمونه‌های شاهد از آنتالپی کمتری برخوردار بودند. تمام نمونه‌های حاصل از تیمار حرارتی خشک در روز اول و سوم و پنجم نگهداری میزان آنتالپی بیشتری را نسبت به نمونه‌های شاهد نشان دادند. تغییر در اندازه ذرات منجر به تغییر در میزان آنتالپی نمونه ها شد، بطوری‌که نمونه با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون کمترین مقدار آنتالپی را در تمام روزهای نگهداری به خود اختصاص داد. نمونه تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون کمترین میزان آنتالپی را در بین نمونه‌ها در روز اول پخت و در طول مدت زمان نگهداری به خود اختصاص داد که در بهبود روند بیاتی نان مؤثرتر بود و علت آن ممکن است به‌دلیل ژلاتینه شدن جزیی مولکول‌های آمیلوپکتین و آمیلوز باشد که در طول حرارت دادن پایداری کمتر دارند. این نتایج با پژوهش هاشمی و همکاران (Hashemi *et al*., 2023) مشابهت داشت، آنها دریافتند نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب آرد برنج نسبت به نمونه‌های تیمار حرارتی خشک و شاهد کمترین میزان آنتالپی را در بین نمونه‌ها در طی مدت نگهداری پنج روز به خود اختصاص داد، که کمتر بودن میزان آنتالپی نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب به ویژگی‌های کیفی آرد تیمار حرارتی مرطوب مرتبط است و علت آن ممکن است به دلیل ژلاتینه شدن جزیی مولکول‌های آمیلوپکتین باشد که در طول حرارت دادن پایداری کمتر دارند.

جدول ۲- پارامترهای رتروگراداسیون نان‌ها در روزهای اول، سوم و پنجم نگهداری

Table 2- Retrogradation parameters of breads on day 1, 3 and 5 of storage

نان‌ها Breads	روزهای نگهداری Storage time (days)	دمای شروع Starting temperature	دمای پیک Peak temperature	دمای نهایی Final temperature	آنتالپی Enthalpy HΔ
	1	20.1	78.3	111.2	212.82
C 180	3	21	85.5	125.8	271.38
	5	21.4	77.3	126.9	311.64
	1	23.3	81.5	119.5	236.52
DHT 180	3	21.3	83.1	126.6	279
	5	22	77.2	125.9	341.1
	1	22	81.9	120.1	198.66
HMT 180	3	22.4	88	129.8	252.12
	5	21.6	80.9	125.1	304.5
	1	20	82	117.9	216.18
C 150	3	20.2	82.3	127.3	278.04
	5	22.8	78.9	125.2	322.86
	1	22.1	82.3	122.8	252.06
DHT 150	3	20.9	74.4	117.4	288
	5	21.7	76.3	123.7	343.2
	1	23.3	84.9	121.8	200.7
HMT 150	3	21.3	75.1	123.9	258.24
	5	21.2	74.3	128.1	307.26
	1	25.4	82.8	123.1	222.72
C 125	3	20.4	82.6	129.3	278.16
	5	21.2	70.7	125.7	326.4
	1	25	82.7	120.5	252.18
DHT 125	3	23.5	82.5	128.8	295.38
	5	20.7	73.4	124.5	395.52
	1	23.5	79.3	118.7	202.2
HMT 125	3	22.7	72.8	124.2	262.92
	5	21	71	136.7	309.24

هورمدوک و همکاران (Hormdok *et al*., 2007) دریافتند کمتر بودن میزان آنتالپی نمونه‌های تیمار حرارتی مرطوب به‌دلیل تخریب و اختلال در زنجیره‌های نشاسته و تشکیل سایر مولکول‌های کوچک ممکن است ارتباط زنجیره نشاسته را مهار کرده و مانع رتروگراداسیون و در نتیجه کاهش آنتالپی و بیاتی نان شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد رئولوژی خمیر تحت تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی قرار گرفت. نمونه تیمار حرارتی خشک با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون رفتار رئولوژی بهتری را نشان داد. نتایج حاصل از ارزیابی‌های انجام شده مربوط به آزمون‌های بیاتی نان نشان داد در طول زمان نگهداری نمونه حاصل از اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون و تیمار حرارتی مرطوب به‌دلیل میزان آنتالپی رتروگراداسیون کمتر و همچنین ظرفیت بالای حفظ رطوبت مغز منجر به بهبود روند بیاتی نان شدند. تأثیر اندازه ذرات و تیمار حرارتی خشک و مرطوب بر میزان فعالیت آبی پوسته و مغز معنی‌دار بود، و نمونه تیمار حرارتی خشک بطور معنی‌داری بیشترین فعالیت آبی مغز را به خود اختصاص داد. بررسی نتایج آنالیز بافت نشان داد نمونه‌های حاصل از تیمار حرارتی مرطوب با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون بطور معنی‌داری منجر به کاهش سفتی و قابلیت جویدن در روز اول و سوم نسبت به نمونه شاهد و تیمار حرارت خشک شد. به‌طور کلی در مجموع ویژگی‌های اندازه‌گیری شده، بکارگیری آرد حاصل از تیمار حرارتی مرطوب و آرد با اندازه ذرات ۱۸۰ میکرون منجر به بهبود ویژگی رئولوژی خمیر و بیاتی نان شد.

میزان مشارکت نویسندگان

محمد فضلی راد: تحقیق و بررسی، مدیریت داده‌ها، نرم‌افزار، نوشتن- پیش‌نویس اصلی، **جعفر محمدزاده میلانی:** مفهوم‌سازی، تأمین مالی، مدیریت پروژه، منابع، نظارت، نوشتن- بررسی و ویرایش، **سپیده حقیقت خرازی:** نظارت، نوشتن- بررسی و ویرایش.

منابع تأمین مالی

این تحقیق در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری از حمایت مالی برخوردار گردید.

References

1. AACC. (2000). American Association of cereal chemists. Approved methods of the AACC, 10th ed. American Association of cereal chemists, St Paul, USA. https://doi.org/10.1016/s0144-8617(01)00358-7
2. Biliaderis, C.G., Izydorczyk, M.S., & Rattan, O. (1995). Effect of arabinoxylans on bread-making quality of wheat flours. *Food Chemistry*, *53*(2), 165-171. https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)90783-4
3. Baik, M.Y., & Chinachoti, P. (2000). Moisture distribution and phase transitions during bread staling. *Cereal Chemistry*, *77*, 484-488. https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.4.484
4. Besbes, E., Le Bail, A., & Seetharaman, K. (2015). Impact of local hydrothermal treatment during bread baking on soluble amylose, firmness, amylopectin retrogradation and water mobility during bread staling. *Journal of Food Science and Technology*, 304-314. https://doi.org/10.1007/s13197-015-1992-z
5. Bucsella, B., Takács, A., Vizer, V., Schwendener, U., & Tömösközi, S. (2016). Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. *Food Chemistry*, *190*, 990–996. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.06.073
6. Bourekoua, H., Benatallah, L., Zidoune, M.N., & Rosell, C.M. (2016). Developing gluten free bakery improvers by hydrothermal treatment of rice and corn flours. *LWT*, *73*, 342-350. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.032
7. Chakraborty, I., Mal, S.S., Paul, U.C., Rahman, M., & Mazumder, N. (2022). An insight into the gelatinization properties influencing the modified starches used in food industry: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 1-29. https://doi.org/10.1007/s11947-022-02761-z
8. Farheen, D., Jyothi Lakshmi, A., Prakash, J., & Indrani, D. (2012). Effect of ingredients on rheological, nutritional and quality characteristics of high protein, high fibre and low carbohydrate bread. *Food Bioprocess Technology*, *5*, 2998-3006. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0752-y
9. Hormdok, R., & Noomhorm, A. (2007). Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. *LWT*, *40*(10), 1723-1731. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.12.017
10. Hashemi, A., Milani, J., Motamedzadehgan, A., & Haghighat, S. (2023). The effect of hydrothermal process and dry heat on different particle sizes of waxy rice flour on the quality of gluten free bread. Master thesis of food industry, faculty of agricultural engineering, Sari University of agricultural sciences and natural resources.
11. Iran institute of standards and industrial research, national standards, standards no 11545.
12. Iran institute of standards and industrial research, natioual standards, standards no 9639-1,3.
13. Ji, Y., Zhu, K., Qian, H., & Zhou, H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chemistry*, *104*(1), 53-58. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.10.072

14. Kim, M.J., Oh, S.G., & Chung, H.J. (2017). Impact of heat-moisture treatment applied to brown rice flour on the quality and digestibility characteristics of Korean rice cake. *Food Science and Biotechnology*, *26*(6), 1579-1586. https://doi.org/10.1007/s10068-017-0151-x
15. Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C.G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, *79*, 1033-1047. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032
16. Lin, S., Gao, J., Jin, X., Wang, Y., Dong, Z., Ying, J., & Zhou, W. (2020). Whole-wheat flour particle size influences dough properties bread structure and in vitro starch digestibility. *Food & Function*, *11*(4), 3610-3620. https://doi.org/10.1039/c9fo02587a
17. Mohammadzadeh Milani, J., & Masoomian, Z. (2018). *The effect of dry and wet heating of potato starch on texture and stale characteristics of sponge cake*. The third international congress and the 26th national congress of Iranian foods sciences and industries.
18. Neill, G., Almuhtaseb, A.H., & Magee, T.R.A. (2012). Optimization of time temperature treatment, for heat treated soft wheat flour. *Journal of Food Engineering*, *113*, 422-426. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.06.019
19. Purhagen, J.K., Sjoo, M.E., & Eliasson, A.C. (2011). The use of normal and heat-treated barley flour and waxy barley starch as antistaling agents in laboratory and industrial baking processes. *Journal of Food Engineering*, *104*, 414-421. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.01.004
20. Poursafar, L., Paighambardost, H., Alizadeh, L., Shekoui, A., & Rafat, A. (2011). Effect of temperature and time of wheat flour heating process on quality characteristics of sponge cake. *Food Processing and Preservation Journal*, *2*(4), 87-104.
21. Payan, R. (2013). *An introduction to the technology of cereal products*. 4th edition, Aizh publishing house, Tehran, Iran.
22. Paighambardost, H., Poursafar, L., & Azadmard Demirchi, P. (2014). The effect of dry and wet heating process of soft wheat flour on dough characteristics and cake quality. *Journal of Food Industry Research*, *25*(1).
23. Pang, J., Guan, E., Yang, Y., Li, M., & Bian, K. (2021). Effects of wheat flour particle size on flour physicochemical properties and steamed bread quality. *Food Science & Nutrition*, *9*(9), 4691-4700. https://doi.org/10.1002/fsn3.2008
24. Rosa Zavareze, E., & Dias, A.R.G. (2011). Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. *Carbohydrate Polymers*, *83*(2), 317-328. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.08.064
25. Raiola, A., Romano, A., Shanakhat, H., Masi, P., & Cavella, S. (2020). Impact of heat treatments on technological performance of re-milled semolina dough and bread. *LWT*, *117*, 108607. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108607
26. Shittu, T.A., Dixon, A., Awonorin, S.O., Sanni, L.O., & Maziya-Dixon, B. (2008). Bread from composite cassava–wheat flour. II: Effect of cassava genotype and nitrogen fertilizer on bread quality. *Food Research International*, *41*(6), 569-578. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.03.008
27. Sudha, M.L., Soumya, C., & Prabhasankar, P. (2016). Use of dry-moist heat effects to improve the functionality immunogenicity of whole wheat flour and its application in bread making. *Journal of Cereal Science*, *69*, 313-320. https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.04.010
28. Shanmugavel, V., Komala Santhi, K., Kurup, A.H., Kumar Kalakandan, S., Anandharaj, A., & Rawson. (2019). Potassium bromate: effects on bread components, health, environment and method of analysis: a review. *Food Chemistry*. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125964